



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Literatur

Pada penelitian sebelumnya pada tahun 2014 menjelaskan tentang studi keandalan sistem distribusi 20 kv menggunakan metode *Section Technique* dan RNEA (*Realibility Network Equivalent Approach*) pada penyulang renon. Berdasarkan hasil kedua metode tersebut akan dibandingkan dengan *Electrical Transient Analisis Program* (ETAP) sebagai referensi. Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa Persentase perhitungan dengan metode *Section Technique* memiliki hasil perhitungan yang mendekati program ETAP sedangkan persentase perhitungan menggunakan metode RNEA (*Realibility Network Equivalent Approach*) memiliki hasilnya yang cukup jauh dari program ETAP[4].

Selanjutnya penelitian pada tahun 2013 Menjelaskan evaluasi indeks keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV di Surabaya dengan menggunakan *Loop Restoration Scheme (LRS)* dengan perhitungan metode *Reliability Index Assessment (RIA)* untuk mengontrol sistem distribusi pada *feeder*. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka nilai indeks keandalan dengan konfigurasi *LRS* pada perhitungan *RIA* tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan [5].

Pada tahun 2012 penelitian selajutnya menjelaskan studi analisis keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV di PLN distribusi jawa timur kediri menggunakan metode *Section Technique* yang akan dibandingkan dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Berdasarkan hasil analisa, nilai SAIFI dan SAIDI pada kedua metode memiliki nilai yang hampir sama. Nilai SAIFI yang dihasilkan keenam penyulang di UPJ Kediri Kota yang sudah memenuhi standar PLN 68-2 tahun 1986 yaitu sebesar 3,2 kali/tahun hanya penyulang Hasanudin, Joyoboyo, Katang. Untuk nilai SAIDI dengan metode *Section Technique* maupun FMEA semua penyulang sudah memenuhi standar PLN yaitu dibawah 21 jam/tahun[6].

Pada penelitian selanjutnya pada tahun 2012 yaitu analisis keandalan sistem distribusi di PT. PLN (persero) Apj Kudus menggunakan *software etap (Electrical Transient Analisis Progam)* dan metode *Section Technique*. Hasil yang didapat dari perhitungan menggunakan metode *Section Technique* adalah nilai indeks keandalan penyulang KDS 2 berupa indeks SAIFI = 2.4982 kali/tahun, SAIDI = 7.6766 jam/pertahun, dan CAIDI = 3.072852 jam/tahun. Sedangkan hasil yang didapat dari perhitungan



menggunakan *Running Software* ETAP adalah nilai indeks keandalan penyulang KDS 2 berupa indeks SAIFI = 2.9235 kali/tahun, SAIDI = 7.8902 jam/tahun, dan CAIDI = 2.699 jam/tahun. Maka penelitian ini memiliki perbedaan nilai indeks keandalan tidak terlalu jauh antara metode *Section Technique* dan *software* ETAP, yang mana menunjukkan bahwa metode *Section Technique* dapat digunakan untuk mencari nilai indeks keandalan suatu jaringan distribusi 20 kV [7].

Pada tahun penelitian 2012 menjelaskan studi perbaikan keandalan jaringan distribusi primer dengan pemasangan gardu induk sisipan dengan perhitungan menggunakan metode *Reliability Index Assessment (RIA)*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut di dapat hasil Gardu induk sisipan yang telah di bangun di kabupaten Enrekang telah memenuhi standar PLN untuk nilai SAIDI dan SAIFI [8].

Penelitian selanjutnya pada tahun 2008 yaitu evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan nilai SAIDI dan SAIFI di Yogyakarta PT. PLN (Persero) APJ Cimahi-UPJ Prima. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai SAIDI masih handal karena sesuai dengan standar yang ditentukan oleh PT. PLN (Persero) [9].

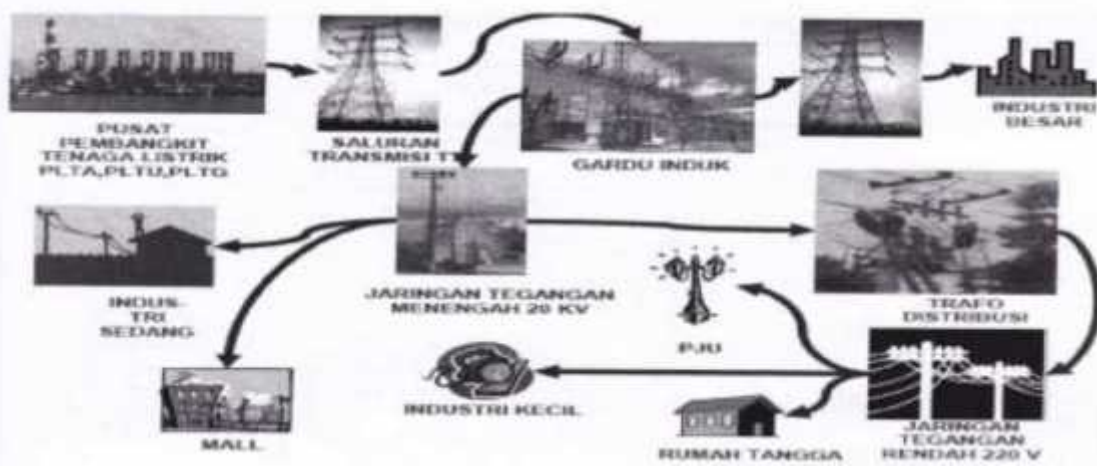
2.2. Konsep Dasar jaringan Distribusi

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, PLTGU dan PLTD, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator, sebagai penaik tegangan yang ada di pusat listrik. Saluran tegangan tinggi di Indonesia mempunyai tegangan 150 kV yang disebut sebagai saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dan tegangan 500 kV yang disebut sebagai saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET). Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah, maka saluran transmisi kebanyakan berupa saluran udara.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi, maka sampailah tenaga listrik di gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator, sebagai penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang digunakan pada saat ini adalah tegangan 20 kV. Jaringan setelah keluar dari GI disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara pusat listrik dengan GI disebut jaringan transmisi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya oleh

gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt, kemudian disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) melalui Sambungan Rumah.

Pada gambar 2.1 dibawa ini dapat dilihat proses penyaluran tenaga listrik mulai dari pusat pembangkit tenaga listrik sampai ke konsumen (pemakai).



Gambar 2.1. Proses Penyaluran Tenaga Listrik dari Pembangkit ke konsumen[10].

Untuk membedakan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi bisa dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1

NO	Dilihat dari Segi	Jaringan distribusi	Jaringan transmisi
1	Letak lokasi jaringan	Dalam Kota	Luar kota
2	Tegangan system	<30 KV	>30 KV
3	Bentuk jaringan	Radial, Loop, Pararel interkoneksi	Radial dan Loop
4	Sistem Penyaluran	Saluran udara dan saluran bawah tanah	Saluran udara saluran bawah laut
5	Konstruksi jaringan	Lebih rumit dan beragam	Lebih sederhana
6	Analisis Jaringan	Lebih kompleks	Lebih sederhana
7	Komponen rangkaian yang diperlukan	Komponen R dan L	Komponen R, L dan C



8	Penyangga Jaringan	Tiang Jaringan	Menara Jaringan
9	Tinggi penyangga jaringan	Kurang dari 20 m	30 – 200 m
10	Kawat penghantar	BCC, SAC, ACC, dan AAAC	ACSR dan ACAR
11	Kawat tarikan	Dengan kawat tarikan	Tanpa kawat tarikan
12	Isolator Jaringan	Jenis Pasak (pin) Jenis Pos (batang) Jenis gantung Jenis cincin	Jenis gantung

Tabel 2.1 perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi[11].

2.3. Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem pendistribusian tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*Power Station*) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi dan unit distribusi.

Dalam pendistribusian tenaga listrik kekonsumen, tegangan listrik yang digunakan bervariasi tergantung dari jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri bisa digunakan tegangan menengah 20 kV atau 6,3 kV sedangkan untuk konsumen tegangan rendah 0,4 kV yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan perkantoran dan rumah tangga[12].

Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tidak langsung.

2.3.1. Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem distribusi langsung ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, biasanya terletak daerah pelayanan beban atau dipinggiran kota.



2.3.2. Sistem Pendistribusian Tidak Langsung

Sistem pendistribusian tidak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.

2.4. Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (seperti gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik[10].

Secara umum yang termasuk ke dalam sistem distribusi antara lain :

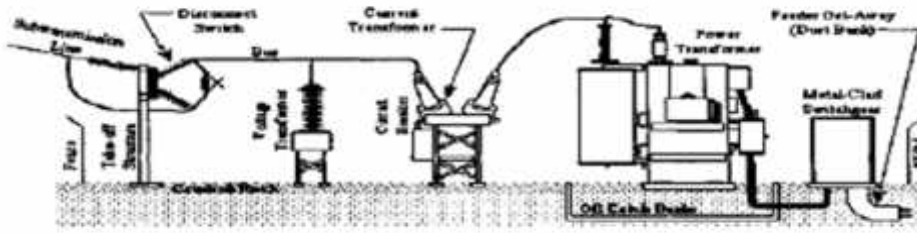
1. Gardu Induk (GI)
2. Jaringan Distribusi Primer
3. Gardu Distribusi
4. Jaringan Distribusi Sekunder

2.4.1. Gardu Induk (GI)

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk mentransfer tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau ke tegangan rendah, pengukuran pengawasan operasi, dan sebagai pengaturan pengaman sistem tenaga listrik serta pengaturan daya pada gardu-gardu lain melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah pusat pembangkit tenaga listrik. Biasanya pusat pembangkit tenaga listrik terletak di pinggiran kota dan pada umumnya berupa pusat pembangkit tenaga diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tidak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah gardu induk seperti pada Gambar 2.4 yang berfungsi menurunkan tegangan dari tegangan transmisi dan menyalurkan tegangan listrik melalui jaringan distribusi primer.



Gambar 2.2. Gardu induk[10]

2.4.2. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala karena yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan karakteristiknya ada konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah.

Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu :

1. Sistem radial

Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.



2. Sistem hantaran penghubung (*tie line*)

Sistem distribusi *Tie Line* umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti bandar udara, rumah sakit, dan lain-lain. Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

3. Sistem loop

Pada jaringan tegangan menengah struktur Lingkaran (Loop) dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.

4. Sistem spindel

Adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah gardu hubung (GH).

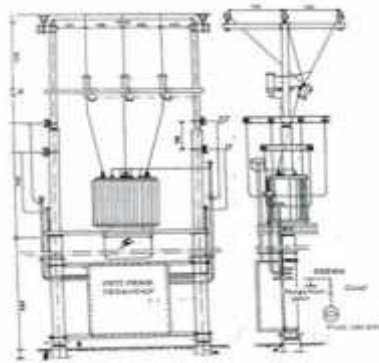
Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

Namun pada pengoperasiannya, sistem spindel berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.4.3. Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder.

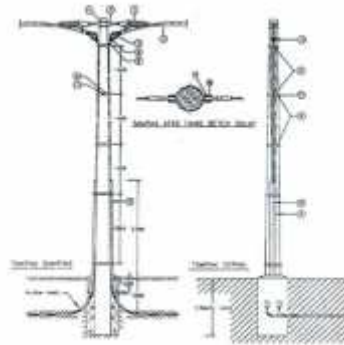
Kapasitas transformator yang digunakan pada gardu distribusi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga fasa.



Gambar 2.3. Gardu distribusi jenis tiang[10]

2.4.4. Jaringan Distribusi Skunder

Jaringan distribusi skunder atau jaringan distribusi tegangan rendah merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya jaringan untuk distribusi skunder ini 130/230 Volt dan 130/400 Volt untuk sistem lama, atau 230/400 Volt untuk sistem baru. Tegangan 130 Volt dan 230 Volt merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 Volt merupakan tegangan fasa dengan fasa.



Gambar 2.4. Jaringan distribusi skunder 220 Volt[10]

2.5. Tegangan Distribusi

Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

2.5.1. Tegangan Menengah

Adalah tegangan dengan rentang 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk negara Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran energi listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.



2.5.2. Tegangan Rendah

Adalah tegangan dengan nilai di bawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyalurannya dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi netral. Indonesia sendiri menggunakan tegangan rendah 380/220 V dimana tegangan 380 V merupakan besar tegangan antar fasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa-netral.

2.6. Persyaratan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam usaha peningkatan kualitas, keandalan, dan pelayanan tenaga listrik ke konsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut. Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik yaitu :

2.6.1. Faktor Keterandalan Sistem

1. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam terus-menerus. Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedianya tenaga listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus-menerus. Untuk hal tersebut diperlukan beberapa cadangan yaitu :
 - a. Cadangan siap, merupakan cadangan yang didapat dari suatu pembangkit yang tidak dibebani secara penuh dan dioperasikan sinkron dengan pembangkit lain guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
 - b. Cadangan panas, merupakan cadangan yang disesuaikan dari pusat pembangkit tenaga termis dengan ketel-ketel yang selalu dipanasi atau dari PLTA yang memiliki kapasitas air yang setiap saat mampu untuk menggerakkannya.
 - c. Cadangan diam, merupakan cadangan dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang dapat dioperasikan tetapi disediakan untuk setiap saat guna menanggulangi kekurangan daya listrik.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolasi sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat-alat pengaman dan pemutus tegangan (*Air Break Switch*) pada setiap wilayah beban.
3. Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerja dengan baik dan tepat.

2.6.2. Faktor Kualitas Sistem

1. Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*Voltage Regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk menjamin kualitas tegangan sampai ke konsumen stabil.
2. Tegangan jatuh atau tegangan drop dibatasi pada harga 10 % dari tegangan nominal sistem untuk setiap wilayah beban. Untuk itu daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
3. Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*Over Voltage*) dalam waktu singkat.

2.6.3. Faktor Pemeliharaan Sistem

1. Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwalkan secara berkesinambungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan, agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik.
2. Pengadaan peralatan listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan jenis/spesifikasi material yang dipakai, sehingga bisa dihasilkan kualitas sistem yang lebih baik dan murah.



2.6.4. Faktor Perencanaan Sistem

Perencanaan jaringan distribusi harus dirancang semaksimal mungkin, untuk perkembangan dikemudian hari.

2.6.5. Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

1. Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus diperhatikan dengan baik, untuk daerah padat penduduknya diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara cepat dan terpadu.
2. Keselamatan alat dan perlengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

2.7. Sectionalizer (SSO)

Sectionalizer atau saklar seksi otomatis adalah suatu peralatan *switching* di jaringan distribusi tegangan menengah yang terpasang di sepanjang jaringan. Umumnya jaringan yang digunakan adalah *Overhead Line* atau saluran udara tegangan menengah. *Sectionalizer* berfungsi untuk melokalisasi area yang terganggu oleh hubung singkat atau hubung tanah yang bersifat permanen/tetap. *Sectionalizer* adalah peralatan saklar seksi otomatis (SSO) pada jaringan listrik yang bekerja berdasarkan sensor tegangan, ditempatkan di jaringan distribusi dengan beberapa tujuan yang berbeda diantaranya untuk mengisolasi seksi yang terganggu, rekonfigurasi jaringan dan lainnya yang secara umum akan memperbaiki keandalan.

Sectionalizer berfungsi sebagai alat pemutus rangkaian untuk dapat memisahkan jaringan utama dalam beberapa seksi secara otomatis, sehingga bila terjadi gangguan permanen maka luas daerah (jaringan) yang mengalami pemadaman akibat gangguan permanen dapat dibatasi sekecil mungkin.



2.8. Konsep Dasar Keandalan

Sebelum membahas keandalan, yang harus diketahui terlebih dahulu yaitu kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Adapun konsep keandalan meliputi[13]:

1. Kegagalan

Kegagalan adalah berakhirnya kemampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.

2. Penyebab Kegagalan

Keadaan lingkungan selama disain, pembuatan atau yang akan menuntun kepada kegagalan.

3. Mode Kegagalan

Akibat yang diamati untuk mengetahui kegagalan, misalnya suatu keadaan rangkaian terbuka atau hubung singkat.

4. Mekanisme Kegagalan

Proses fisik, kimia atau proses lain yang menghasilkan kegagalan.

Gangguan listrik pada jaringan sistem distribusi dinyatakan sebagai kerusakan dari peralatan yang mengakibatkan sebagian atau seluruh pelayanan listrik terganggu. Besaran yang dapat digunakan untuk menentukan nilai keandalan suatu peralatan listrik adalah besarnya suatu laju kegagalan/kecepatan kegagalan (failure rate) yang dinyatakan dengan simbol λ .

2.9. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Dalam proses pendistribusian tenaga listrik, yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem adalah tingkat keandalan. Hal ini dapat dilihat dari sejauh mana supply tenaga listrik dilaksanakan secara kontinyu dalam satu tahun ke konsumen.

Ada beberapa definisi ini diberikan untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi[13], yaitu:

1. Pemadaman/*Interruption of Supply* yaitu terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari salah satu atau lebih komponen mendapat gangguan.

2. Keluar/*Outage* adalah keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Di larang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu *outage* dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem.

3. Lama keluar/*Outage Duration* adalah periode dari saat permulaan komponen mengalami *outage* sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama pemadaman/*interruption Duration* adalah waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali.
5. Jumlah total konsumen terlayani/*Total Number of Costumer Served* adalah jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode laporan terakhir.
6. Periode laporan adalah periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun.

2.10. Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Keandalan Sistem Distribusi merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu[10].

Ada beberapa hal yang perlu diketahui sebelum menghitung indeks keandalan sistem yaitu dengan mengetahui standard Indeks keandalan pada SUTM radial SPLN 68-2 tahun 1986 dimana untuk nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI sebesar 21 Jam/tahun [14].

2.11. Faktor-Faktor Nilai Keandalan

Ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisa keandalan, antara lain:

a. Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama beroperasi suatu sistem. Dirumuskan sebagai berikut:

$$MTTF = \frac{T_1+T_2+T_3.....T_n}{n}.....(2.1)$$

Dimana:

T = Waktu operasi (up time)

N = Jumlah kegagalan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

b. Mean Time To Repair(MTTR)

Mean Time To Repair (MTTR) adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap terjadinya kegagalan suatu sistem, dirumuskan sebagai berikut :

$$MTTR = \frac{L1+L2+L3.....Ln}{n}.....(2.2)$$

Dimana :

L = Waktu perbaikan

N = Jumlah perbaikan

c. Laju Kegagalan

Laju kegagalan adalah frekuensi suatu sistem/komponen gagal bekerja, biasanya dilambangkan dengan (lamda) laju kegagalan dari suatu sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja, dirumuskan sebagai berikut:

$$= \frac{1}{MTTF}.....(2.3)$$

d. Laju Perbaikan

Laju Perbaikan atau *downtime* rate adalah frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (kondisi OFF), dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{1}{MTTR}.....(2.4)$$

2.12. Indeks Keandalan Menggunakan Metode *Section Technique*.

Metode *Section Technique* adalah metode yang melakukan evaluasi keandalan dengan cara memecah sistem dalam bagian-bagian yang lebih kecil atau *section* terlebih dahulu, sehingga kemungkinan terjadi kesalahan dalam perhitungan dapat diminimalkan, serta waktu dalam penyelesaiannya membutuhkan waktu lebih lebih singkat.

Dalam metode *Section Technique* diasumsikan kegagalan peralatan tidak saling berhubungan, peralatan masing-masing dapat dianalisa secara terpisah. Jika kegagalan peralatan saling dihubungkan, maka perhitungan keandalan sistem menjadi lebih kompleks.

Maka untuk menyederhanakan perhitungan tersebut dengan mengasumsikan bahwa setiap kegagalan tidak saling berhubungan.

Section Technique merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisa suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan menganalisa apa yang terjadi jika gangguan terjadi. Kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisa dari semua titik beban (*load point*). Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban (*load point*) dan indeks-indeks sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Indeks *load point* antara lain:

- a. Frekuensi gangguan (*failure rate*) untuk setiap *load point* LP, merupakan penjumlahan laju kegagalan terhadap *load point*, dengan persamaan:

$$LP = \sum_{i=K} \lambda_i \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

λ_i = laju kegagalan

K = semua panjang saluran yang berpengaruh terhadap *load point*

- b. Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk *load point* ULP, dengan persamaan:

$$ULP = \sum_{i=1} U_i \sum_{i=K} \lambda_i \times r_j \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

R_j = waktu perbaikan (*repair time* atau *switching time*)

Berdasarkan indeks-indeks *load point* ini, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi dan lama pemadaman rata-rata tahunan.

Indeks-indeks yang digunakan untuk menghitung keandalan sistem adalah sebagai berikut[4]:

1. SAIFI(*System Average Interruption Frequency Index*)

Yaitu jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi perpelanggan yang dilayani pertahun.

Untuk mendapatkan hasil maka menggunakan rumus sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$SAIFI = \frac{\sum NLP \chi \lambda LP}{\sum N} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

NLP = Jumlah konsumen pada *load point*

N = Jumlah konsumen pada sistem

LP = Frekuensi gangguan peralatan pada *load point*

2. SAIDI(System Average Interruption Duration Indeks)

Yaitu nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap pelanggan selama satu tahun.

Persamaanya adalah:

$$SAIDI = \frac{\sum NLP \chi ULP}{\sum N} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

NLP = Jumlah konsumen pada *load point*

N = Jumlah konsumen pada sistem

ULP = Durasi gangguan peralatan pada *load point*

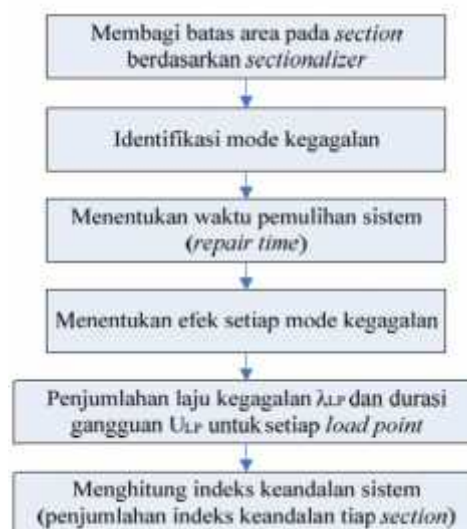
3. CAIDI(Customer Average Interruption Duration Index)

Adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun.

Persamaanya adalah

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(2.9)$$

Adapun alur dari metode *Section Techneque* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Flow Chart Metode *Section Technique*[7]



Berdasarkan *Flow Chart Metode Section Technique* diatas dapat di jelaskan seperti di bawah ini:

1. Membagi batas area pada *Section* berdasarkan *Sectionalizer*.

Pada metode *Section Technique* diasumsikan kegagalan peralatan dan saluran tidak saling berhubungan, maka peralatan dan saluran masing-masing dapat dianalisa secara terpisah atau dibagi-bagi menjadi beberapa *section*. Maka untuk menentukan membagi menjadi beberapa *section* maka di analisa berdasarkan jumlah *sectionalizer*. Adapun setiap *section* tersebut terdiri dari *load point* atau *trafo* yang terletak di antara *sectionalizer*. Adapun pembagian *section* tersebut dengan cara menganalisa letak *sectionalizer* yang kemudian menentukan *trafo* atau *load point* yang berpengaruh diantara *sectionalizer* I ke *sectionalizer* II. Maka di dapatlah *section* I, dan begitu juga *section* berikutnya.

2. Identifikasi mode kegagalan.

Identifikasi mode kegagalan yaitu mengamati atau menganalisa kegagalan-kegagalan peralatan dan saluran udara yang mengakibatkan tidak beroperasinya peralatan-peralatan dan saluran udara yang memiliki pengaruh pada sistem yang bekerja. Layanan dapat dipulihkan dengan memperbaiki atau mengganti perangkat yang gagal. Adapun bentuk hasil dari identifikasi mode kegagalan berupa nilai waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama beroperasinya suatu sistem (MTTF). Sedangkan untuk persamaan MTTF dapat dilihat pada persamaan 2.1, yaitu dengan cara membagi jumlah waktu beroperasi sistem dalam setahun dibagi dengan jumlah kegagalan sistem dalam setahun.

3. Menentukan waktu pemulihan sistem *Repair time*.

Waktu pemulihan sistem atau *Mean Time To Repair* (MTTR) yaitu waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan atau pemulihan sistem terhadap terjadinya kegagalan suatu sistem dalam setahun. Untuk persamaan MTTR dapat dilihat pada persamaan 2.2 dengan cara membagi waktu perbaikan dengan jumlah perbaikan dalam setahun.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Menentukan efek setiap mode kegagalan.

Yaitu menentukan resiko-resiko frekuensi rusak atau gagalnya suatu sistem atau komponen-komponen peralatan dan saluran udara tahunan rata-rata dalam pengoperasiannya (*fault/year*). Adapun hasilnya berupa frekuensi suatu sistem/komponen gagal bekerja(laju kegagalan), dan frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (laju perbaikan). Adapun cara mendapatkan hasil dari laju kegalan dan laju perbaikan dengan persamaan 2.3 dan 2.4 untuk laju kegagalan dan laju perbaikan.

5. Penjumlahan laju kegagalan LP (Frekuensi gangguan peralatan pada *load point*) dan durasi gangguan ULP(Durasi gangguan peralatan pada *load point*) untuk setiap *load point*.

Frekuensi gangguan peralatan pada *load point* (LP) yaitu penjumlahan dari laju kegagalan terhadap *load point*. Untuk persamaanya terdapat pada persamaan 2.5, yaitu dengan cara laju kegagalan di kalikan panjang saluran tiap *section* maka didapatlah nilai dari Frekuensi gangguan peralatan pada *load point* (LP) untuk setiap *load point*. Sedangkan untuk durasi gangguan ULP(Durasi gangguan peralatan pada *load point*) didapat dengan cara laju perbaikan dikalikan dengan panjang saluran setiap *section*.

6. Menghitung indeks keandalan sistem (penjumlahan indeks keandalan tiap *section*).

Menghitung indeks keandalan sistem yaitu menjumlah indeks keandalan sistem untuk setiap load point pada setiap *section*. Adapun hasilnya berupa nilai SAIFI, SAIDI, CAIDI, untuk persamaannya dapat dilihat pada persamaan 2.7, 2.8,dan 2.9, yaitu untuk SAIFI dengan cara frekuensi gangguan peralatan pada *load point* (LP) dikali dengan jumlah pelanggan pada *load point* kemudian hasilnya dibagi dengan total jumlah pelanggan. Sedangkan untuk nilai SAIDI dengan cara durasi gangguan (ULP) dikali dengan jumlah pelanggan pada *load point* kemudian hasilnya dibagi dengan total jumlah pelanggan. Untuk nilai CAIDI didapat dengan cara nilai SAIDI dibagi dengan nilai SAIFI.



2.13. Indeks Keandalan Menggunakan Metode *RIA* (*Reliability Index Assessment*)

Metode *RIA* adalah sebuah pendekatan yang digunakan untuk memprediksi gangguan pada sistem distribusi berdasarkan topologi sistem dan data-data mengenai keandalan komponen.

Secara fungsional *RIA* mendata kegagalan yang terjadi pada peralatan secara komprehensif, lalu mengidentifikasi kegagalan tersebut, dan menganalisis mode kegagalan tersebut. Filosofi dari metode *RIA* adalah suatu sistem mode yang melibatkan analisis *bottom-up* dimana suatu analisis mode kegagalan spesifik dari sub sistem, dilihat pengaruhnya terhadap keseluruhan sistem sehingga dapat dihasilkan indeks-indeks keandalan yang memiliki kontribusi terhadap indeks keandalan seluruh sistem.

Syarat-syarat dari metode *RIA* adalah sebagai berikut [16].

- Data topologi penyulang (*feeder*) sistem jaringan distribusi 20 kV secara menyeluruh beserta titik-titik beban (*load point*).
- Data jumlah pelanggan pada setiap titik beban.
- Parameter data keandalan sistem.

Dalam melakukan perhitungan indeks keandalan dari sisi pelanggan menggunakan metode *RIA*, terdapat dua kondisi yang diterapkan pada perhitungan ini, yaitu pada kondisi *perfect switching* dan kondisi *imperfect switching* [17].

1. Kondisi *Perfect Switching*

Kondisi *perfect switching* dicapai ketika suatu peralatan distribusi khususnya peralatan yang berperan dalam proses *switching* misalnya *circuit breaker* dan *recloser* diasumsikan bekerja sempurna. Oleh karena itu, indeks dari kegagalan peralatan tersebut dapat diabaikan dan yang diperhitungkan hanya indeks kegagalan dari saluran. Pada kondisi *perfect switching*, terdapat tiga langkah dalam menentukan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI yaitu [8].

2. Kondisi *Imperfect Switching*

Kondisi *imperfect switching* dicapai ketika suatu peralatan distribusi seperti *circuit breaker* dan *recloser* diasumsikan bekerja tidak sempurna. Oleh karena itu, indeks dari setiap peralatan distribusi memberikan nilai indeks kegagalan secara menyeluruh.

Untuk perhitungan keandalan pada kondisi *imperfect switching* langkah-langkah yang digunakan sama dengan perhitungan pada saat kondisi *perfect switching*. Perbedaannya terletak pada peralatan *switching* yang turut berkontribusi pada perhitungan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI [8].

Pada perhitungan indeks keandalan sistem diasumsikan berada hanya pada kondisi imperfect switching dikarenakan dalam suatu keandalan semua komponen yang ada pada jaringan distribusi berpengaruh terhadap keandalan jaringan distribusi. Ada tiga langkah yang digunakan untuk mendapatkan nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI, yaitu [17].

a. *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah jumlah rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani persatuan waktu (umumnya tahunan). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua kegagalan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Persamaan untuk SAIFI dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$SAIFI = \frac{\sum k. Mk}{\sum M} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan :

k = Laju kegagalan saluran

M_k = Jumlah pelanggan pada saluran

M = Total pelanggan pada saluran

b. *System Average Interruption Duration Indeks (SAIDI)*

SAIDI (System Average Interruption Duration Indeks) adalah nilai rata-rata dari lamanya keggalan untuk setiap pelanggan selama satu tahun. indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya kegagalan secara terus menerus untuk selama pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama setahun. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum \mu k.Mk}{\sum M} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

μ_k = Laju perbaikan saluran

M_k = Jumlah pelanggan pada saluran

M = Total pelanggan pada saluran

c. *Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*

CAIDI (*Customer Average Interruption Duration*) adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots \dots \dots (2.12)$$

Adapun tahapan-tahapan dalam metode *RIA* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 *Flow Chart Metode Reability Indeks Assessment (RIA)* [8]

Berdasarkan *Flow Chart Metode Reability Indeks Assessment (RIA)* diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi mode kegagalan.

Identifikasi mode kegagalan yaitu mengamati atau menganalisa kegagalan-kegagalan peralatan dan saluran udara yang mengakibatkan tidak beroperasinya peralatan-peralatan dan saluran udara yang memiliki pengaruh pada sistem yang bekerja. Layanan dapat dipulihkan dengan memperbaiki atau mengganti perangkat yang gagal. Adapun bentuk hasil dari identifikasi mode kegagalan berupa nilai waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama beroperasinya suatu sistem (MTTF). Sedangkan untuk persamaan MTTF dapat dilihat pada persamaan 2.1, yaitu dengan cara membagi jumlah waktu beroperasi sistem dalam setahun dibagi dengan jumlah kegagalan sistem dalam setahun.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Menentukan waktu pemulihan sistem *Repair time* atau *switching*.

Waktu pemuihan sistem atau *Maen Time To Repair* (MTTR) yaitu waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan atau pemulihan sistem terhadap terjadinya kegagalan suatu sistem dalam setahun. Untuk persamaan MTTR dapat dilihat pada persamaan 2.2 dengan cara membagi waktu perbaikan dengan jumlah perbaikan dalam setahun.

3. Menentukan efek tiap mode kegagalan.

Yaitu Laju kegagalan () atau harga rata-rata dari jumlah kegagalan per satuan waktu pada suatu selang waktu pengamatan (T). Dan dinyatakan dalam satuan kegagalan pertahun. Laju kegagalan pada feeder 4 lobak dihitung dengan satuan kegagalan per tahun yaitu pada tahun 2014 untuk selang waktu pengamatan diperoleh. Adapun mendapatkan hasilnya berdasarkan persamaan 2.3 untuk laju kegagalan.

4. Menghitung indeks keandalan kontribusi tiap peralatan.

Adalah laju perbaikan atau frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (kondisi Off). Adapun cara mendapatkannya yaitu dengan rumus laju perbaikan pada persamaan 2.4 untuk laju perbaikan. Semakin besar nilai λ maka semakin cepat pula waktu perbaikan yang berarti semakin bagus nilai keandalan suatu sistem tersebut. Adapun laju perbaikan pada *feeder* 4 Lobak yang dihitung selama satu tahun yaitu pada tahun 2014.

5. Menghitung indeks keandalan sistem.

Dalam menentukan indeks keandalan sistem terdapat 3 indeks yang akan dihitung yaitu SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Untuk mendapatkan hasilnya menggunakan persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 untuk nilai SAIFI, SAIDI, CAIDI dalam satu tahun. Sedangkan untuk penelitian ini hanya pada tahun 2014.